

УДК 620.91

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ВНУТРИ ТРУБОПРОВОДА ОТ ВРЕМЕНИ

М. С. Редунова¹, Е. Ю. Павлюк²

^{1,2} Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

¹ M.Redunova@yandex.ru

Аннотация. В работе приведен результат решения стационарной задачи расхолаживания трубопровода, получена зависимость температуры теплоносителя внутри трубопровода от времени. Приведена постановка задачи в общем виде.

Ключевые слова: трубопровод, системы ГВС, расхолаживание, температурное поле

DETERMINATION OF THE DEPENDENCE OF THE COOLANT TEMPERATURE INSIDE THE PIPELINE ON TIME

M. S. Redunova¹, E. Yu. Pavlyuk²

^{1,2} Ural Federal University named after the First
President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

¹ M.Redunova@yandex.ru

Abstract. The paper presents the result of the solution of the stationary problem of pipeline cooling, and the dependence of the coolant temperature inside the pipeline on time is obtained. The problem is formulated in general form.

Keywords: pipe, hot water supply systems, cool-down, temperature field

Уровень температуры воды в системах централизованного горячего водоснабжения в местах водоразбора независимо от применяемой системы теплоснабжения должна быть не ниже 60 °С и не выше 75 °С [1]. Занижение установленной температуры может привести к появлению патогенных микроорганизмов, таких как легионелла

(*Legionella pneumophila*) [2]. Чтобы температура воды не достигала критических значений, необходимо провести расчет температурного поля в трубопроводе, демонстрирующего зависимость температуры теплоносителя от времени. Проведем расчет температурного поля для частного случая расхолаживания теплопровода после остановки циркуляции ($w = 0$). В этом случае динамика температуры теплоносителя в теплопроводе может быть рассчитана при следующих предположениях:

1) температура теплоносителя принимается постоянной по его объему, ограниченному внутренней поверхностью цилиндра радиуса R (приближение термически тонкого тела, $Bi \rightarrow 0$ ($Bi < 0,1$, $\alpha \rightarrow 0$);

2) температура окружающей теплопровод среды — заданная функция времени $T_{\text{ср}} = f(\tau)$, коэффициенты эффективности теплообмена с ограждениями — внутренней $\alpha_{\text{внутр}}$ и наружной $\alpha_{\text{наружн}}$ поверхностями принимаются постоянными;

3) расчет проводится на единицу длины теплопровода.

Тогда решение поставленной задачи находится из уравнения теплового баланса:

$$\frac{dT}{d\tau} = -\frac{\alpha_{\text{эфф}} F}{\rho C_p V} (T - T_{\text{ср}}),$$

где T — температура теплоносителя; τ — время; $\alpha_{\text{эфф}}$ — коэффициент теплоотдачи; F — площадь поверхности теплосъема; $T_{\text{ср}}$ — температура среды; ρ и C_p — плотность и теплоемкость теплоносителя; V — объем, занимаемый теплоносителем.

Путем несложных преобразований получим зависимость температуры теплоносителя от времени при $T_{\text{ср}} = \text{const}$:

$$T = T_{\text{ср}} + (T_0 - T_{\text{ср}}) e^{-m\tau},$$

где T_0 — температура теплоносителя в начальный момент времени; m — коэффициент, равный

$$m = \frac{2\alpha_{\text{эфф}}}{\rho C_p R}.$$

При переменной по времени температуре окружающей среды $T_{\text{ср}} = f(\tau)$ уравнение несколько усложняется

$$\frac{dT}{d\tau} = -m \cdot (T - f(\tau)).$$

Решение этого уравнения имеет вид [3]:

$$T = T_0 \exp[-m\tau] + m \int_0^\tau f(\zeta) \exp\{-m(\tau - \zeta)\} d\zeta.$$

В настоящее время решается задача определения длительности расхолаживания трубопровода, заполненного движущейся жидкостью. В этом случае задача реконструкции температурного поля в теплопроводе будет формулироваться следующим образом:

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{\partial T}{\partial \tau} + (\vec{w} \nabla) T = a \nabla^2 T + \frac{q_v}{\rho C_p}.$$

Для стационарного осесимметричного течения среды вдоль оси полуограниченной круглой трубы при отсутствии тепловыделения внутри области течения приведенное выше уравнение теплопроводности приобретает вид:

$$T = T(r, z); \frac{\partial T}{\partial \tau} = 0; \vec{w} = (0, 0, w_z); q_v = 0;$$

$$w_z \frac{\partial T}{\partial z} = a \left\{ \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right\}.$$

Постановка задач:

1) рассматривается стационарное течение вязкой несжимаемой жидкости в круглой трубе радиуса R ;

2) на входе в трубу имеется предвключенный изотермический участок гидродинамической стабилизации. Скорость потока равна w_{cp} . Жидкость поступает в трубу с равномерной температурой T_0 ;

3) поле скоростей на основном участке при ламинарном режиме течения описывается уравнением Пуазейля:

$$w(r) = w_{\max} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right];$$

$$w_{cp} = \frac{\Delta P}{8\mu l} R^2;$$

$$w_{\max} = 2 w_{cp};$$

4) поток тепла теплопроводности вдоль оси трубы пренебрежимо мал по сравнению с переносом тепла конвективным потоком жидкости;

5) поле температур в трубе определяется из решения следующей граничной задачи:

$$\left\{ \begin{array}{l} w_z(r) \frac{\partial T}{\partial z} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) \\ T = T(r, z) \\ 0 \leq r \leq R \\ 0 \leq z \leq \infty \\ T|_{z=0} = T_0 \\ T|_{z \rightarrow \infty} = 0 \end{array} \right. ;$$

6) на боковой поверхности трубы реализуется граничное условие III рода. Температура внешней среды принимается равной нулю. Эффективный коэффициент теплоотдачи определяется с учетом термического сопротивления теплоотдачи от жидкости к внутренней стенке трубы, теплопроводности слоя изоляции и теплоотдачи с наружной поверхности в окружающую среду:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial r_{r=R}} = \alpha_{\text{эфф}} T_{r=R}.$$

Результаты проделанной работы имеют важное практическое значение, т. к. с их помощью можно определить температуру теплоносителя в точках водоразбора, а также допустимый временной интервал простоя воды в трубопроводе на случай сезонных гидравлических испытаний трубопроводов в системах ГВС.

Список источников

1. СП 30.13330.2020 «СНиП 2.04.01–85 Внутренний водопровод и канализация зданий» [Электронный ресурс]. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/117293/> (дата обращения: 12.04.2021).
2. Наука и молодежь: проблемы, поиски решения : тр. Всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых / СибГИУ ; под общ. ред. М. В. Темлянцева. Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2016. Вып. 20. Ч. V. Техн. науки. 223 с.
3. Цой П. В. Методы расчета задач тепломассопереноса. М. : Энергоатомиздат, 1984. 412 с.